

自転車周辺機器の組込デバイス開発

小田切 健太・藤 堂 洋 弥・大 橋 拓 馬
諷 訪 達 也・田 崎 颯 音・出 野 雄 大
永 野 幸次郎・林 拓 武 (専修大学ネットワーク情報学部)

Embedded Device Development for Bicycle Peripherals

Kenta ODAGIRI, Hiroya TODO, Takuma OHASHI, Tatsuya SUWA, Hayato TASAKI,
Yudai DENO, Kojiro NAGANO, Takumu HAYASHI
(School of Network and Information, Senshu University)

We develop three embedded devices for the bicycle (road bike) peripheral equipment. One is an automatic transmission device for road bike. This device changes gears automatically depending on running speed, cadence (pedaling rate), inclination angle of the road, and so on. Next device is a directional indicator for road bike. This device indicates the direction to which the rider will turn. Last one is an image display device in the rotating bike wheel. This device displays the image which is depicted on the screen of user's smartphone by hand.

キーワード：組込デバイス開発, Arduino, 3D プリンタ, Raspberry Pi

Key words : Embedded device development, Arduino, 3D printer, Raspberry Pi

1. はじめに

自転車は、簡易な移動手段として広く普及している乗り物である。自転車産業振興協会の推計 [1] によれば、2012 年時点での日本国内における自転車保有台数はおよそ 7,200 万台、1 世帯当たりの自転車保有台数は 1.36 台となっている。保有されている自転車の多くは、買い物等の日常生活で広く利用されている「シティ車 (軽快車)」で、保有自転車全体のおよそ 60% を占めている。近年はスポーツ自転車 (ロードバイクやマウンテンバイク等) や電動アシスト自転車の販売台数が大きく伸びており、特にスポーツ自転車の販売台数は 2003 年と比較して 2013 年は約 3.5 倍と大幅な伸びを示している [2]。スポーツ自転車の使用用途は日常生活での利用がメインのシティ車とは異なり、単なる移動手段というだけでなく、「自転車に乗ること」それ自体が目的となりうる。このような状況において、我々は「自転車に乗ること」の様々な楽しみ方を提案するために、組込式の電子デバイスを用いた様々な自転車周辺機器を開発した。

我々が開発した周辺機器は、自転車用自動変速機、自転車用ウインカー、ホイール装着型残像ディスプレイの 3 点である。各々の周辺機器は、これまでも商用で開発、販売が行われたこともあるが、我々は「ユーザーが楽しんで自転車に乗る」という視点を重視しながらこれらの周辺機器の開発を行った。以下では、開発した周辺機器それぞれについての概要を述べる。

2. 自転車用自動変速機

2.1 開発の背景

変速機は、与えられた動力を駆動輪に伝える際に回転数とトルク（力）を適切に変化させるための装置である。駆動輪に与える回転数を小さくすると駆動輪に与えるトルクは大きくなり、回転数を大きくすればトルクは小さくなる。自動車やバイクと異なり、標準的な自転車では原動機が設置されておらず人間のペダルを漕ぐ力が動力であるので、自転車の変速機は移動速度の変化だけでなく「漕ぎやすさ」の観点からも重要な役割を果たす。例えば、発進時や坂道走行時など駆動輪に大きなトルクが必要となる時には、変速機を低速の位置にすることでスムーズに漕ぎ進めることができる。

通常のシティ車に搭載されている変速機は、低速、中速、高速の3段階程度しか選択できないのに対し、スポーツ自転車では少ないものでも7段階、ロードバイクになると30段階近く選択できるものが多い。変速の選択における自由度の高さがスポーツ自転車の楽しみの一つとも言える一方で、スポーツ自転車に乗りなれない初心者にとっては、この自由度の高さが自転車操作にあたっての大きな障壁にもなりえる。特にロードバイクは、通常の自転車の運転姿勢とは大きく異なる前傾姿勢での運転となるため、多段階の変速機操作に慣れないと安全に乗車することさえ難しくなる恐れがある。そこで我々は、初心者でも安全に楽しくスポーツ自転車を乗車できるようにするために、自転車用自動変速機を開発を行った。

2.2 概要

我々が開発した自転車用自動変速機は、自転車に取付けた各種センサによって計測されたデータから現在の走行状況を把握し、走行状況に応じて自動的に変速を行うデバイスである。通常、スポーツ自転車の変速機は、ペダルに付いた前方のギアを切り替えるフロントディレイラーと、後輪についたギア（スプロケット）を切り替えるリアディレイラーから構成される。各ディレイラーに接続されたワイヤーの張力を調整することで、チェーンをずらしてギアを変更し、変速する仕組みである。本デバイスでは、リアディレイラー用のワイヤーをサーボモーターで引き込み、ワイヤーにかかる張力を走行状況に基づいて自動的に調整することで、自動変速を実現している（自動変速の様子は [3] の動画を参照）。自動変速機の制御および各センサによるデータの計測のために、Arduino M0 というマイコンを利用した。また、マイコンおよびサーボモーター等の自動変速機本体を格納するケースやワイヤー引き込みのためのパーツ（プーリー）については、適切な既製品が存在しなかったため、CAD ソフトおよび3D プリンタを利用してパーツの設計および作成を行った。

2.3 各パーツの説明

2.3.1 各種計測センサ

本デバイスでは、ホイールの回転数（自転車の走行速度に対応）、クランク（ペダル）の回転数（ケイデンス）、車体の傾斜（走行路面の傾斜に対応）、ブレーキ操作の有無という4種の情報を計測することで、現在の走行状況を把握している。ホイールとクランクの回転数は、マグネットとリードスイッチを用いて計測する。車体の傾斜は、ジャイロセンサおよび3軸加速度センサを用いて計測する。ブレーキ操作の有無については、ブレーキレバーにマグネットとリードスイッチを取り付けて計測する。

2.3.2 自動変速機

自動変速機本体は、各種計測センサで取得した情報から現在の走行状況を定量化し、走行状況ごと

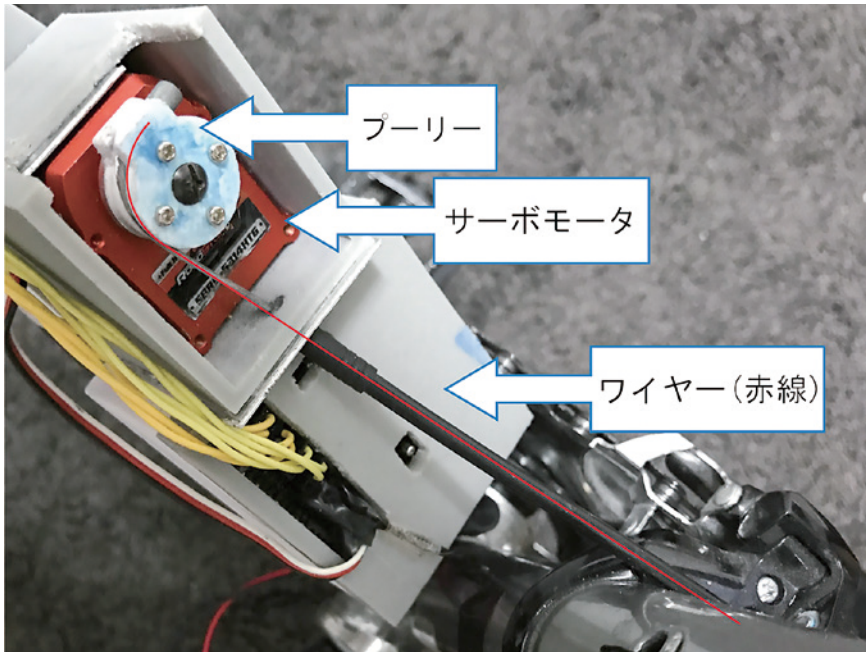


図1 自動変速機本体。リアディレイラー用のワイヤーをサーボモータに取付けた自作の専用プーリーに接続し、サーボモータの角度を変化することでワイヤーの張力を自動調整する。

に設定された自動変速アルゴリズムに基づいて、自動変速を行う。具体的には、リアディレイラー用ワイヤーをサーボモータに取付けた専用プーリーに接続し、サーボモータの角度を変化させてワイヤーの張力を調整することで、リアディレイラーの角度を調節してチェーンを動かし変速を行う(図1)。

専用プーリーおよび自動変速機本体を格納するケースについては、サーボモータへの取付けやワイヤーの取り回し等、自動変速機を搭載する自転車の寸法に応じて調整できるように、自作した。自作パーツの設計には3次元CADモデリングソフトウェア Fusion 360 を利用し、出力は3Dプリンタ SCOOVO C170 で行った。自転車への取付けアダプタ等の一部のパーツについては、自作パーツの材質であるPLAフィラメントでは剛性が十分に確保されなかったため、金属による補強をあわせて行った。

また、状況に応じて手動変速もできるように、手動変速用のタクトスイッチを左右のハンドル部に取り付けている(図2)。左右のスイッチそれぞれは、低速側への変速および高速側への変速に対応している。手動変速を行った場合には20秒間自動変速機能を停止させることで、自動変速機能により手動変速前の状態に再変速されてしまうのを防いでいる。

2.3.3 コンフィグツール

利用者にとって最適な自動変速を実現するために、自動変速プログラムを調整するためのコンフィグツールも開発した。コンフィグツールでは、「平地加速時ギアアップ」や「登り巡行時ギアダウン」等、想定される走行状況に応じて利用者が指定したケイデンスで自動変速が行われるように設定することができる(図3)。自動変速機本体のマイコンとPCをmicroUSBで接続してシリアル通信を行い、マイコンに取り付けたEEPROMにコンフィグツールで設定した情報を保持する。また、コンフィグツールで変速段数の設定を行うこともできるので、ギアの枚数が異なる(変速段数の異なる)自転車への自動変速機の付け替えにも対応している。



図2 手動変速用タクトスイッチ。



図3 コンフィグツールによる設定画面。

3. 自転車用ウインカー

3.1 開発の背景

自転車は道路交通法上では「軽車両」に区分されるため、ある一定の条件を満たす場合を除いて、基本的には車道を走行しなければならない。しかし一部の自転車利用者は、「軽車両」という区分を軽視して定められた法律上の規定を遵守しないため、歩行者や自動車等の車両と事故やトラブルをしばしば起こしてしまう。近年では自転車の違反行為の取締りも増えており、2016年における自転車での違反行為における検挙数は14,000件近くにのぼり、2005年の検挙数814件のおよそ17倍にもなる[4]。

安全に自転車に乗るためには、右左折や停止などの運転者の意思を周囲の歩行者や自動車に伝えることが必要であるものの、バイクや自動車と異なり、ほとんどの自転車にはウインカーもブレーキランプも備え付けられていない。手信号を用いて周囲に運転者の意思を伝えることは可能であるが、ス

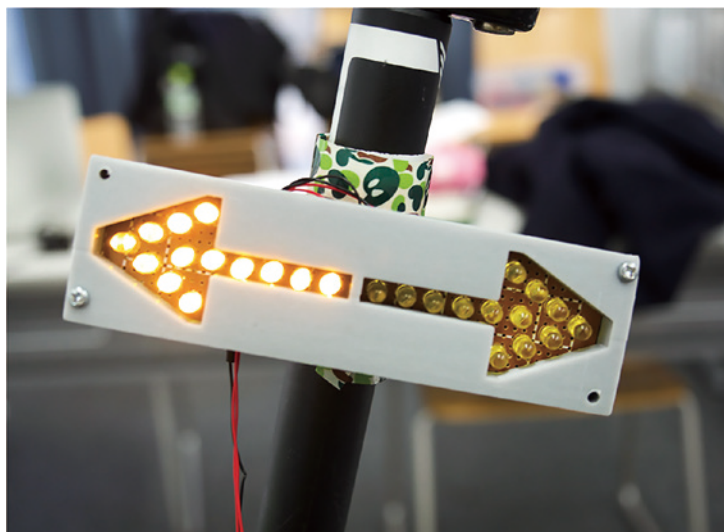


図4 自転車用ウインカー。

スポーツ自転車に乗りなれていない運転者が手信号を出しながら運転することは、かえって運転者に危険を及ぼす。そこで我々は、自転車運転者の安全を確保しつつ、周囲に運転者の右左折の意思を伝える手段として、自転車用ウインカー（図4）の開発を行った。

3.2 概要

自転車用ウインカーは、自作した専用ケース内にLEDを矢印型に配置させ、ハンドル部に設置したレバー型スイッチを左右に倒すことで、それぞれの方向に対応した矢印型LEDが点灯するデバイスである。ウインカーはサドル下部のシートポストに設置することで、後方の歩行者や自動車等に運転者の意思を伝える。ウインカーの制御にはArduinoを利用し、給電は自動変速機と共用のリチウムイオンバッテリーから行っている。

4. ホイール装着型残像ディスプレイ

4.1 開発の背景

自転車には様々な周辺機器が市販されており、自身の嗜好に合わせた製品を組み合わせる「自分だけの自転車に装飾する楽しみ」を見出す利用者が少なくない。スポーツ自転車の本来の目的である競技の観点から言えば、過度の装飾は車体重量の増加等の理由で競技において不利益を被るので行うべきではないが、競技性に重きを置かないスポーツ自転車利用者（愛好家）が増加している現在では、「自分なりの装飾」ができることの重要性も増していると考えられる。

しかし自動車の車体と異なり、スポーツ自転車のフレームは大きな面を確保できないため、目立つペインティングなどの大きな装飾を加えるのは難しい。ホイールをディスクホイールと呼ばれる円板状のホイールに変更し、そこに大きなステッカーを貼って装飾する愛好家もいるが、ディスクホイールは非常に高価な上、ホイールが回転してしまう走行中は当然装飾が見えなくなってしまう。そこで我々は、利用者が気軽に自転車の装飾を楽しむことができると同時に、走行中でも見える装飾にするために、ホイール装着型残像ディスプレイの開発を行った。

4.2 概要

ホイール装着型残像ディスプレイは、ホイール内に装着した48個のLEDの列を定期的に点滅させることで、スマートフォンのブラウザ上で描画した文字や絵を回転中のホイール内に生じるLEDの残像を用いて表示するデバイスである（図5）。ブラウザ上で描いた文字や絵の描画データは、サーバを経由してLED点灯制御用データに変換後、ホイール内のLED点灯制御用のRaspberry Piに送信されて、描いた文字や絵がホイール内に表示される。本デバイスに類似した市販の既製品の多くは、SDカード等のメディアやUSB等の有線接続を介して描画データをホイール内に設置されたLED点灯制御モジュールに送るため、新たな描画データの送信にはホイールの回転を停止させる必要がある。本デバイスでは、Raspberry Piに搭載された無線LANモジュールを利用して描画データを受信するため、ホイールを回転させたままリアルタイムで描いた文字や絵を描画できることが大きな長所である。

4.3 各機能の説明

4.3.1 LED点灯制御モジュール

残像ディスプレイを機能させるための核となるLED点灯制御モジュール（図6）は、LED取付基板、



図5 ホイール装着型残像ディスプレイ。

点灯制御用 Raspberry Pi, 回転数計測センサ, モバイルバッテリーから構成される。基板に取り付けられた48個のLEDは6つのシフトレジスタで制御されており, 基板はホイール内部に装着された Raspberry Pi に接続されている。Raspberry Pi はネットワーク経由で送られてくるLED点灯制御用データに基づき, LEDの点灯タイミングを制御している。また, リードスイッチとマグネットを用いた回転数計測センサによりホイールの回転数を取得し, 現在の回転数にあわせたタイミングでLEDを点灯させることにより, 低速回転, 高速回転どちらの場合でも残像が乱れることなく表示できる。

4.3.2 描画・送信モジュール

残像ディスプレイに表示させる文字や絵を描画するための機能, 描画データをホイール内の残像ディスプレイにリアルタイムで送信するための機能, 描画データからLED点灯制御用データへの変換機能, という3つの機能を併せ持つ描画・送信モジュールを開発した。これらの機能により, スマートフォン上の描画用webページ(図7)に表示されたホイールに指で文字や絵を描くことで, その描画データがリアルタイムでホイール内の残像ディスプレイに反映される(実際の様子は[5]の動画を

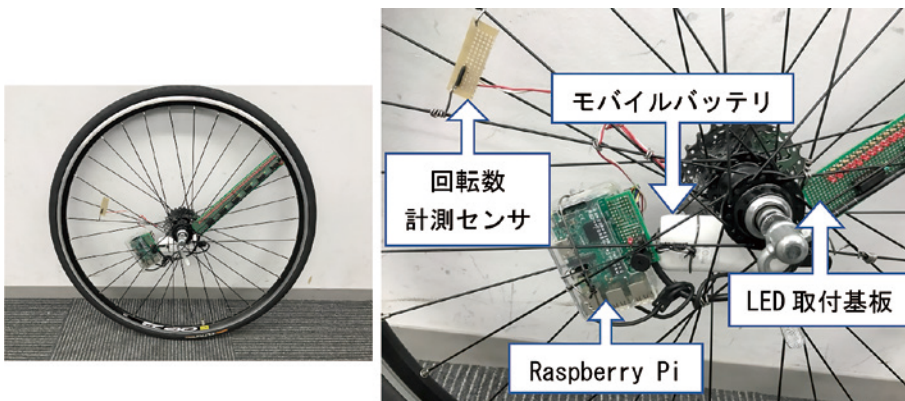


図6 LED点灯制御モジュール取付後の後輪用ホイール。
(左) ホイール全体図。(右) 各パーツの配置拡大図。

参照)。

① 描画用 web ページ

描画用 web ページは 2D 描画用 JavaScript ライブラリの `pixi.js` を利用して作成した。描いた線の座標データ (描画データ) は線を描くごと (`touchend` イベント発生時, 指がスマートフォンの画面上から離れたとき) に `http` サーバに送られ, そこから展示用に設置した PC に描画データが送信される。データの自動送信が失敗したときのために, 画面下部に送信ボタンも設置している (図 7)。

② 描画データの不正な再送信防止

展示用の仕様として, 見学者のスマートフォン上で描いたデータを残像ディスプレイで表示するために, 展示用に設置した PC 上に表示される QR コードを読み取ることで, 見学者のスマートフォン上に描画用 web ページを表示させるようにした。これは, 以前の見学者が描画データを不正に再送信するのを防ぐためである。具体的には, QR コードで取得する URL にハッシュ値を加えて, 見学者が入れ替わるごとにハッシュ値を更新し, それに対応した URL の描画用 web ページを表示する QR コードを再生成する。クライアント側は描画データとハッシュ値をサーバ側に送り, サーバ側はハッシュ値の照合を行う。送信されたハッシュ値が最新のものでなければデータの受信を拒否することで, 以前の見学者が不正に再送信したデータを受け付けられない仕組みとなっている。

③ LED 点灯制御用データへの変換と LED 点灯制御モジュールへのデータ送信

展示用に設置した PC に送られた描画データは, PC 内で LED 点灯制御用データへ変換される。2次元座標空間上の画像データ (ラスタデータ) を 1 次的に配列された 48 個の LED 列の回転による残像として表現するために, 描画キャンパスに相当する円形ホイール状の領域を 360 個の小さな扇形に等角度で分割する。一つの扇形領域上に存在するラスタデータを 1 次元の LED 列の点灯・消灯で近似して, ホイールの回転数 (角速度) に基づいて各 LED の点灯タイミングを制御することで, 画像データを LED の回転による残像として表示している。現在の回転数の情報が必要となる LED 点灯タイミングの制御はホイール内の Raspberry Pi 上で行う必要があるため, PC 内で行われる LED 点灯制御用データの変換処理は, 2次元座標空間上のラスタデータから LED 列の点灯・消灯に対応する 48×360 のブー



図 7 描画用 web ページの画面

ル型 2 次元配列データへの変換となる。このデータを PC と同じローカルネットワークに接続された LED 点灯制御用 Raspberry Pi に送信することで、描画データが残像ディスプレイに表示される。

5. ま と め

本稿では、我々が開発した自転車用自動変速機、自転車用ウインカー、ホイール装着型残像ディスプレイという 3 点の自転車周辺機器の概要について紹介した。それぞれの周辺機器については、既存の市販品が存在するものもあるが、スポーツ自転車初心者の利用を念頭に置き、安全に楽しく自転車に乗ることが出来るように独自に設計、開発を行った。自動変速機本体、コンフィグツールおよび残像ディスプレイについては、それぞれ GitHub 上でソースコード [6]-[8] が公開されているので、興味のある方はご覧いただきたい。

参 考 文 献

- [1] 自転車産業振興協会, 「平成 24 年度 自転車保有台数に関する調査報告書 (要約)」, 2013 年 3 月, 18 ページ。
- [2] 自転車産業振興協会, 「平成 15 年度 自転車国内販売動向調査」, 2004 年 4 月, 1 ページ。
自転車産業振興協会, 「平成 25 年度 自転車国内販売動向調査」, 2014 年 4 月, 1 ページ。
- [3] YouTube, 「小田切プロジェクト 2016 : 自転車自動変速機」, <https://www.youtube.com/watch?v=aY4SCaMcQ1Q>.
- [4] 警察庁, 「自転車の交通取締り状況」, https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/bicycle/pdf/3_torishimari.pdf.
- [5] YouTube, 「自転車のタイヤに絵を描く」, <https://www.youtube.com/watch?v=lbjk-5lnoA>.
- [6] GitHub, “t0d0/odachari_demo”, https://github.com/t0d0/odachari_demo.
- [7] GitHub, “t0d0/AT_Config_Tool”, https://github.com/t0d0/AT_Config_Tool.
- [8] GitHub, “takumus/KaitenDisplay”, <https://github.com/takumus/KaitenDisplay>.